



ELSEVIER
MASSON

Reçu le :
10 décembre 2007
Accepté le :
20 février 2008

Implants cardiaques et exposition aux champs électromagnétiques 50 Hz en environnement professionnel

Cardiac implants and electromagnetic exposure in the workplace

M. Souques^{1,*}, I. Magne², A. Trigano³, R. Frank⁴, M. Héro⁵, P. Schmitt⁶, M. Nadi⁶, F. Audran², J. Lambrozo¹

¹ Service des études médicales, EDF-Gaz de France, 22-28, rue Joubert, 75009 Paris, France

² Laboratoires des matériels électriques, EDF R&D, avenue des Renardières, 77818 Moret-sur-Loing, France

³ Service de cardiologie, hôpital Nord, CHU de Marseille, chemin des Bourrely, 13915 Marseille, France

⁴ Service de rythmologie, institut de cardiologie, hôpital Pitié-Salpêtrière, 52-56, boulevard Vincent-Auriol, 75013 Paris, France

⁵ Medtronic France, 122, avenue du Général-Leclerc, 92514 Boulogne-Billancourt cedex, France

⁶ LIEN, Nancy université, boulevard des Aiguillettes, BP 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

Disponible en ligne sur

 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Summary

Purpose of the study. Pacemakers (PM) or implantable cardioverter-defibrillators (ICD) can be disturbed by magnetic field exposure at work. Based on experimental exposure of volunteers and our experience from in situ case studies, we present an approach to evaluate work safety and the worker's fitness in such situations.

Method. For the PMs situations, there are data allowing to make a decision in the majority of the cases. In the case of ICD, an adapted study is necessary. A protocol for risk evaluation was finalized, consisting in measuring the magnetic field in the various places where the worker may move within the framework of his professional activity. These measures are made in his presence, while simultaneously monitoring the operation of the device.

Results. Three practical realized cases of measurements are presented, with their difficulties of realization and their results.

Conclusion. A decision about the worker's fitness can then be taken on the basis of this information. This approach can be extended to the other medical implants and with electromagnetic spectrum frequencies different from 50 Hz.

© 2008 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Electromagnetic field, Pacemaker, Implantable cardioverter-defibrillator

Résumé

Objectif. Le fonctionnement des stimulateurs cardiaques (SC) et des défibrillateurs automatiques implantables (DAI) peut être perturbé par l'exposition du porteur à un champ électromagnétique au cours d'une activité professionnelle. Partant d'études expérimentales, d'exposition de volontaires et d'études de cas in situ, nous présentons une approche destinée à évaluer l'aptitude au travail dans ce type de situation.

Méthode. Pour les SC, il existe des données permettant de prendre une décision dans la majorité des cas rencontrés. Dans le cas des DAI, une étude adaptée est nécessaire. Un protocole d'évaluation du risque a été mis au point, consistant à mesurer le champ magnétique aux différents endroits où le travailleur est susceptible de se déplacer dans le cadre de son activité professionnelle. Ces mesures sont effectuées en sa présence, tout en surveillant le fonctionnement du DAI.

Résultats. Trois cas pratiques réalisés sont présentés, avec leurs difficultés de réalisation et leurs résultats.

Conclusion. Une décision quant à l'aptitude professionnelle peut ensuite être prise sur la base de ces informations. Cette démarche peut être étendue à d'autres implants médicaux et à des fréquences du spectre électromagnétique différentes de 50 Hz.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés: Champ électromagnétique, Stimulateur cardiaque, Défibrillateur automatique implantable

* Auteur correspondant.
e-mail : martine.souques@edf.gdf.fr

Environ 60 000 stimulateurs cardiaques (SC) et 7000 défibrillateurs automatiques implantables (DAI) sont implantés en France chaque année. Les SC sont implantés plutôt chez des personnes de plus de 50 ans. À cet âge, la tendance pour les médecins du travail consiste alors à proposer un autre poste de travail lorsque cela est possible, ou une retraite anticipée. Il en va tout autrement dans le cas des DAI, car ces appareils sont souvent implantés chez des personnes plus jeunes, qui souhaitent pouvoir poursuivre leur activité professionnelle dans le métier pour lequel elles ont été formées.

Les champs électromagnétiques peuvent perturber le fonctionnement des implants médicaux actifs. Plusieurs études, menées sur les SC, tendent à montrer l'absence de risque pour les niveaux de champ magnétique de 50/60 Hz rencontrés dans la vie courante [1-5]. Mais dans le milieu professionnel, où les niveaux de champs peuvent être supérieurs, il existe moins de données rapportant les risques d'interférences. Dans le cas des DAI, aucune étude à grande échelle, sur des personnes implantées et exposées à un champ magnétique, n'a été, à notre connaissance, publiée.

Il existe des méthodes permettant d'étudier précisément les conditions d'exposition d'un travailleur porteur d'un implant médical actif en vue de décider de son maintien ou non à son poste de travail ou d'un aménagement du poste. L'avantage d'une étude individualisée est d'informer et de rassurer aussi bien le médecin du travail que le patient, son cardiologue ou son employeur, et de ne pas prendre une décision arbitraire d'inaptitude ou de déclassement systématique du travailleur.

Le niveau de connaissance est bien meilleur pour les SC que pour les DAI. Ce travail propose une méthodologie d'approche de l'aptitude pour les porteurs de DAI, basée sur des observations pluridisciplinaires de terrain. L'objectif n'est pas de donner un niveau de champ magnétique compatible avec tel ou tel implant cardiaque en milieu professionnel, mais bien de proposer une méthodologie d'évaluation du risque encouru par le travailleur dans son quotidien professionnel, afin d'éclairer la décision du médecin du travail. Cette démarche peut tout à fait s'étendre à d'autres fréquences du spectre électromagnétique.

De façon générale, la sensibilité des implants cardiaques aux interférences électromagnétiques dépend de plusieurs facteurs, dont les plus importants sont le réglage du fonctionnement de la ou des sondes : détection unipolaire (entre une électrode et le boîtier) ou bipolaire (entre deux électrodes situées sur la sonde au niveau du cœur), et celui de la sensibilité de détection (plus la sensibilité est importante, plus l'appareil est potentiellement réceptif aux interférences).

Le cas des stimulateurs cardiaques

Le SC est conçu pour détecter l'activité cardiaque et stimuler le cœur automatiquement. Il analyse les signaux reçus dans une bande passante de 10 à 100 Hz et permet le traitement des bradycardies et des blocs de conduction auriculoventriculaires.

Une interférence détectée produit une simulation d'activité cardiaque que les systèmes de détection du SC interprètent comme une activité cardiaque à fréquence rapide alors que ce n'est pas le cas (fausse détection). Cela se traduit alors par une inhibition du SC. La source de l'interférence peut être une source externe ou endogène (comme l'activité musculaire), surtout lorsque la détection est unipolaire. Les conséquences d'une interférence peuvent aller d'une accélération du rythme cardiaque à un arrêt cardiaque, voire une déprogrammation. L'inhibition d'un SC pendant quelques secondes ne provoque qu'un léger malaise, ou peut passer totalement inaperçue, sauf si l'interférence perdure et que le patient est stimulodépendant : il peut alors entrer en syncope, voire être en arrêt cardiaque. En général, ces conséquences sont réversibles dès l'arrêt de l'exposition. Quand l'interférence se traduit par un malaise, la conduite à tenir est d'éloigner la personne implantée de la source de champ. Plusieurs publications existent, tant dans le domaine *in vitro* que dans le domaine *in vivo*. Des études expérimentales effectuées dans les années 1980 à 1990 ont permis de définir des seuils de perturbations des SC, différents selon les réglages des appareils. Ainsi, dès 1991, Toivonen et al. montraient qu'un champ électrique de 1,7 kV/m était susceptible d'inhiber un stimulateur programmé en mode unipolaire et avec une sensibilité maximale [4]. En mode bipolaire, ces valeurs atteignaient 7 à 8 kV/m. Aucune perturbation n'a été constatée avec un champ magnétique de 48 à 90 μ T. En revanche, ces mêmes intensités entraînaient des perturbations en mode unipolaire. Plus récemment, à partir d'une étude de 100 stimulateurs *in vitro*, J. Silny a montré qu'un champ électrique de 50 Hz vertical supérieur à 6 kV/m pouvait entraîner un dysfonctionnement dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire avec une détection unipolaire à sensibilité maximale. Dans le cas d'un champ magnétique, les seuils de dysfonctionnement étaient de 552 μ T à 10 Hz et de 20 μ T à 250 Hz (fréquence utilisée pour le fonctionnement de certains portiques antivol) [6].

Deux autres études, en conditions réelles d'exposition, ont permis d'étudier, chez plus de 300 personnes implantées exposées à un champ magnétique 50 Hz, le fonctionnement de différents types de SC récents [7,8]. Avec une intensité maximale de 100 μ T, l'étude de Trigano a montré des

Tableau 1

Conduite à tenir pour définir l'aptitude d'un travailleur porteur d'un stimulateur cardiaque et exposé au champ magnétique 50 Hz.

Champ magnétique	Stimulateur cardiaque en mode unipolaire	Stimulateur cardiaque en mode bipolaire
< 45 μ T	Aptitude	Aptitude
≤ 100 μ T	Étude de poste	Aptitude
> 100 μ T	Étude de poste	Étude de poste
Quel que soit le CM, mais demande de l'un des protagonistes (angoisse +++)	Étude de poste	Étude de poste

passages intermittents en mode de réversions¹ ou une inhibition de la stimulation dans trois cas sur les 100 stimulateurs en programmation unipolaire. Le seuil d'absence d'effet était de 45 μ T, ce qui est supérieur aux valeurs habituellement rencontrées dans l'environnement et dans la plupart des expositions professionnelles. Dans le cas des stimulateurs programmés en mode bipolaire, aucune interférence n'a perturbé la fonction de stimulation du SC.

Évidemment, les modèles de SC n'étaient pas tous représentés au sein du panel de volontaires. Une étude similaire donnerait peut-être des résultats différents avec des appareils de toute dernière génération, tant leur évolution technologique est rapide.

Rappelons que l'évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques doit être effectuée pour le respect de la *directive européenne 2004/40/CE*, mais que l'employeur doit aussi prendre en compte les risques existant pour les porteurs d'implants actifs [9]. Or même en milieu professionnel, les expositions à des champs de plus de 45 μ T sont rares, a fortiori celles supérieures à 100 μ T. De plus, en France, la détection bipolaire est majoritairement employée pour les SC, le mode unipolaire ne se rencontrant plus que sur des modèles anciens d'appareils, donc chez des personnes plus âgées, moins susceptibles d'être encore en activité. Par conséquent, si l'on se réfère au *tableau 1*, résumant la conduite à tenir pour définir l'aptitude au travail d'un porteur de SC, en présence de champs magnétiques 50 Hz, les controverses sont rapidement dissipées dans la majorité des situations, par la connaissance du niveau de champ magnétique au poste de travail.

Le cas des défibrillateurs automatiques implantables

Le DAI est conçu pour détecter et traiter automatiquement les épisodes de trouble du rythme rapide : tachycardie (TV) et fibrillation (FV) ventriculaires. Il a également une fonction de

¹ Il s'agit d'un mode de secours prévu par le constructeur pour pallier une inhibition du SC, due à une interférence, par exemple.

stimulation. Le mode de détection des DAI est obligatoirement bipolaire, réduisant beaucoup le risque de percevoir des interférences.

Lorsqu'il y a interférence, deux cas de figure peuvent se présenter : le DAI peut faire une fausse détection d'activité cardiaque rapide, et délivrer alors un choc inapproprié, ou bien l'interférence peut perturber la détection d'une arythmie réelle avec pour conséquence une absence de traitement. Une interférence créant un dysfonctionnement du DAI ne passe donc pas inaperçue. En général, comme pour les SC, ces conséquences sont réversibles dès l'arrêt de l'exposition.

Les SC et les DAI sont capables de garder en mémoire des informations de diagnostics et des données d'électrocardiogrammes qui permettent d'affiner les réglages, d'ajuster les traitements et de repérer les interférences survenues, le cas échéant. Cette mémoire nous aidera grandement dans la conduite à tenir après l'analyse du poste de travail.

Contrairement au cas de SC, les données de la littérature sont très pauvres en ce qui concerne des cas d'interférences avec les DAI. Hormis les incidents par électrisation directe, les quelques cas rapportés dans la littérature concernent les perturbations subies par des DAI en présence de portiques antivol [10-12]. Dans une étude in vitro au laboratoire d'instrumentation électronique de Nancy, un protocole basé sur des signaux cardiaques leurres a été établi pour simuler des situations réelles de fonctionnement de DAI testés dans un fantôme électromagnétique simulant les tissus biologiques [13]. Deux études différentes ont été menées pour voir si le champ magnétique pouvait entraîner, d'une part, des fausses détections arythmiques (détecter une FV ou TV alors qu'il n'y en pas), ce qui se traduirait par un choc inapproprié, d'autre part, une inhibition de la détection de vraies arythmies, ce qui se traduirait par une absence de traitement du trouble cardiaque par le DAI. Ces études ont montré que les appareils testés pouvaient être défaillants en perturbations conduites (contact direct avec le fantôme), mais pas en environnement magnétique rayonné, même pour des amplitudes de champs allant jusqu'à 1000 μ T à 50 Hz [14]. Cependant, quatre modèles seulement ont été testés.

Une étude *in vivo*, en conditions réelles d'exposition, reste plus difficile à réaliser que dans le cas des SC, car les conséquences, en cas d'interférence, peuvent être plus graves. En effet, le DAI peut alors délivrer un choc alors qu'il n'y a pas de trouble du rythme sous-jacent, ce qui est non seulement très désagréable pour la personne, mais peut également entraîner une perte de connaissance avec un risque potentiel d'arythmie qui ne sera pas réduite. Statistiquement plus improbable, mais néanmoins possible, l'interférence peut aussi inhiber la détection d'une arythmie réelle survenant malencontreusement pendant l'exposition. Le DAI ne délivre alors pas le traitement thérapeutique programmé, faisant passer le patient d'un statut de volontaire à celui de victime.

Une démarche de précaution est donc préconisée dans tous les cas, incluant le travailleur concerné (qui doit être informé de ce que sont les interférences électromagnétiques et signer un consentement), le cardiologue, le médecin du travail, le fabricant du DAI et des spécialistes de la mesure des champs électromagnétiques. Cette démarche coopérative peut sembler compliquée à mettre en œuvre, car elle en est à ses débuts. Elle devrait toutefois permettre progressivement de construire une base de données répertoriant les situations d'interactions possibles et les liens de cause à effet entre les différents modèles de DAI, leurs réglages et les niveaux d'exposition rencontrés dans l'industrie. Une méthodologie d'approche de l'aptitude du travailleur porteur de DAI et exposé aux champs électromagnétiques est proposée ci-dessous, basée sur trois observations pluridisciplinaires réalisées à EDF.

Protocole d'évaluation du risque d'interférence électromagnétique

Pour répondre à des cas précis à l'intérieur de l'entreprise, nous avons mis au point un protocole pour étudier l'adéquation du poste de travail à un porteur d'implant. La démarche est à la fois simple dans sa mise en œuvre et précise dans ses objectifs [15]. Le protocole consiste à réunir une équipe pluridisciplinaire comportant :

- le cardiologue du porteur de l'implant avec un matériel de réanimation ;
- le fabricant de l'implant avec le matériel de télémétrie permettant d'analyser immédiatement le comportement de l'appareil ;
- une équipe technique habilitée à réaliser les mesures de champ magnétique ;
- le médecin du travail ;
- le porteur de l'implant.

Dans un premier temps, l'équipe technique effectue des relevés, en vue d'établir une cartographie des champs dans tout l'espace de travail, et détermine un classement des lieux où le travailleur est susceptible de se poster, en commençant par les locaux où le champ magnétique est le moins important pour terminer dans ceux où il est le plus intense. Les mesures en présence du travailleur sont alors réalisées dans un deuxième temps, en respectant l'ordre d'exposition croissant préétabli. Pour cette deuxième étape, le porteur d'implant est également équipé d'un enregistreur de champ (type Emdex, Enertech - États-Unis) pour un contrôle *a posteriori* des niveaux enregistrés par rapport aux mesures réalisées. Simultanément, le comportement de l'implant est analysé par la télémétrie du fabricant. Cet enregistrement télémétrique permet de savoir si l'implant « voit » le champ magnétique et, si oui, s'il l'interprète comme un signal cardiaque.

À l'évidence, le consentement de tous les acteurs, et en particulier de la personne implantée, doit être recueilli au préalable de toute investigation, pour avaliser le protocole. Durant les mesures, le DAI n'était pas désactivé pour deux raisons : si l'on désactive le traitement, le patient ne peut plus recevoir de traitement si l'appareil détecte une FV ; si l'on désactive la détection, l'appareil ne détecte plus les arythmies, donc ne traite pas.

Nous avons choisi de laisser les traitements et la détection actifs, mais d'utiliser la tête de programmation du programmeur en regard du DAI implanté afin d'enregistrer et d'imprimer en continu l'ECG et les électrogrammes (EMGs) endocavitaires en mode bipolaire et en mode *farfield* (pseudo-unipolaire). Dans ce cas, nous avons une vision exacte et en temps réel de ce que l'appareil détecte. Pendant l'application de la tête de programmation, l'appareil détecte tous les événements dont la période est supérieure à 110 ms, mais n'interprète pas le type d'arythmie détectée. Deux situations particulières peuvent alors se produire :

- l'appareil détecte une vraie fibrillation ventriculaire (confirmée par l'ECG et les EGMs). Le retrait immédiat de la tête de programmation bascule le DAI dans son mode de traitement automatique et traite par choc après le temps de charge des condensateurs ;
- l'appareil détecte une interférence (confirmée par l'ECG et les EGMs). La tête de programmation est maintenue en regard du DAI implanté et le patient est éloigné de la source d'interférences jusqu'à ne plus détecter l'interférence. La présence d'un défibrillateur externe était une sécurité dans le cas où l'appareil implanté aurait été endommagé par les interférences.

En trois ans, cette démarche a été réalisée trois fois au sein du groupe EDF, entreprise d'environ 130 000 salariés, dont les expositions au champ magnétique 50 Hz peuvent être importantes et fréquentes. À chaque fois, si la question a été la même, à savoir l'aptitude ou non d'un travailleur porteur d'un DAI à un poste de travail donné, la réponse a été différente, du fait des circonstances et des possibilités/difficultés de regroupement des différents intervenants.

Premier cas

M. P., la cinquantaine, est technicien de maintenance dans quatre unités de production hydroélectriques. Il bénéficie depuis 2004 d'un DAI de marque Medtronic (modèle MarquisTM). Tous les intervenants concernés ont pu être réunis et les mesures de champs ont été effectuées sur les différents lieux de travail. Le champ magnétique maximum mesuré au niveau du DAI a été de 650 μ T. Aucun dysfonctionnement n'a été enregistré pour cet implant en mode bipolaire, mode de fonctionnement imposé par l'architecture du DAI. L'interrogation finale de l'implant par télémetrie a permis de vérifier qu'aucun événement capable de leurrer les systèmes de détection n'avait été enregistré. L'analyse de ce poste de travail pour cet employé a démontré l'absence de risque de dysfonctionnement du DAI. Suite à cette étude personnalisée, l'agent a été déclaré apte et a pu reprendre son poste dans les usines hydroélectriques. Depuis, et avec un recul de trois ans, aucun incident n'a été rapporté.

Deuxième cas

M. B., 29 ans, est prestataire de service dans une centrale nucléaire où il est chargé de la maintenance des alarmes anti-incendie. Il bénéficie depuis 2005 d'un DAI de marque Saint-Jude. Le médecin du travail du site, en coordination avec le médecin du travail de l'entreprise sous-traitante, a proposé une étude de l'exposition aux champs magnétiques dans tout le périmètre de la centrale. Le cardiologue de M. B. n'étant pas d'accord pour exposer son patient à ces situations potentiellement dangereuses, la cartographie du champ magnétique du site a été réalisée avec un sujet témoin, non porteur d'implant, collègue de M. B., réalisant exactement les mêmes tâches. Dans ce cas, il n'était pas nécessaire de faire venir le fabricant de l'implant. Cette étude a permis de délimiter une zone où le champ magnétique ne dépassait pas les valeurs rencontrées dans l'environnement habituel (une limite à 10 μ T a été choisie) et dans laquelle M. B. pouvait travailler sans problème. Une aptitude restreinte à cette zone a été donnée par le médecin du travail. Pour aller plus loin, il aurait été

nécessaire de contrôler le DAI dans les zones où le champ était supérieur à 10 μ T. Cela n'a pas été réalisé car entre-temps Monsieur B. a changé de lieu de travail.

Troisième cas

M. D., 33 ans, bénéficie en 2004 d'un nouveau DAI, de marque Medtronic (modèle MaximoTM). À l'occasion d'un changement de poste, il est amené à travailler dans un poste de transformation électrique 225 et 400 kV. Une journée de mesure a été organisée, en présence du travailleur, du médecin du travail et du fabricant. Le cardiologue qui devait être présent a eu un empêchement de dernière minute, mais le médecin du travail, apte à la réanimation cardiaque, a choisi de réaliser tout de même l'étude. Le champ magnétique maximum mesuré a été de 76 μ T dans le poste 400 kV, sans perturbation du DAI. Suite à cette étude de risque particulier, l'agent a été déclaré apte. Cependant, il n'a pour l'instant jamais occupé ce poste car il est en arrêt de travail.

Conclusion

Ces différentes études de cas montrent l'intérêt de mesurer le champ magnétique réel et d'interroger l'implant cardiaque en même temps dans les différents lieux où le travailleur est susceptible de se présenter au cours de son activité professionnelle, pour évaluer les risques d'interférences avec le champ magnétique 50 Hz, et aider le médecin du travail à évaluer l'aptitude sans a priori systématique. Cette démarche peut être mise en œuvre quel que soit le type d'implant actif et la fréquence des champs électromagnétiques rencontrés en milieu professionnel. Elle mériterait d'être systématisée afin de construire une base de données opérationnelles pour les médecins du travail et les cardiologues.

À retenir : dans tous les cas, quand une interférence électromagnétique est suspectée, le premier geste à faire est d'éloigner la personne de la source du champ.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les intervenants impliqués dans ces différentes études de poste, en particulier les médecins du travail qui ont organisé les mesures sur place.

Références

1. Butrous GS, Male JC, Webber RS, et al. The effect of power frequency high intensity electric fields on implanted cardiac pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 1983;6:1282-92.
2. Irnich W. Electronic security systems and active implantable medical devices. *Pacing Clin Electrophysiol* 2002;25:1235-58.

3. Scholten A, Silny J. The interference threshold of cardiac pacemakers in electric 50 Hz fields. *J Med Eng Technol* 2001;25:1-11.
4. Toivonen L, Valjus J, Hongisto M, et al. The influence of elevated 50 Hz electric and magnetic fields on implanted cardiac pacemakers: the role of the lead configuration and programming of the sensitivity. *Pacing Clin Electrophysiol* 1991;14:2114-22.
5. Dawson T, Caputa K, Stuchly M, et al. Pacemaker interference by magnetic fields at power line frequencies. *IEEE Trans Biomed Eng* 2002;49:254-62.
6. Silny J. The interference of electronic implants in low frequency electromagnetic fields. *Arch Mal Coeur Vaiss* 2003;96 Spec No 3:30-34.
7. Souques M, Trigano J, Frank R, et al. Fonctionnement des stimulateurs cardiaques en présence d'un champ magnétique 50 Hz dans la limite de la Recommandation européenne. *Environnement Risques Sante* 2007;6:111-8.
8. Trigano A, Blandeau O, Souques M. Clinical study of interference with cardiac pacemakers by a magnetic field at power line frequencies. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:896-900.
9. Conseil des Communautés européennes. Directive 2004/40/CE du parlement européen et du conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relative à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques) (dix-huitième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE). *Journal officiel des Communautés européennes* 2004;L159:1-26.
10. Gwechenberger M, Rauscha F, Stix G, et al. Interference of programmed electromagnetic stimulation with pacemakers and automatic implantable cardioverter defibrillators. *Bioelectromagnetics* 2006;27:365-77.
11. Mathew P, Lewis C, Neglia J, et al. Interaction between electronic article surveillance systems and implantable defibrillators: insights from a fourth generation ICD. *Pacing Clin Electrophysiol* 1997;20:2857-9.
12. Gimbel JR, Cox JJ. Electronic article surveillance systems and interactions with icardiac devices: risk of adverse interactions in public and commercial spaces. *Mayo Clin Proc* 2007;82:318-22.
13. Marchal C, Nadi M, Tosser A, et al. Dielectric properties of gelatine phantoms used for simulations of biological tissues between 10 and 50 MHz. *Int J Hyperthermia* 1989;5:725-32.
14. Schmitt P, Roth P, Nadi M, Joly L. Étude expérimentale de l'immunité des défibrillateurs implantables aux perturbations électromagnétiques basses fréquences. In: D J. editor. *Congrès national de radioprotection, SFRP 2005. Société française de radioprotection ; 2005 Juin 14-16 ; Nantes.*
15. Magne I, Souques M, Héro M. Quelle conduite tenir après l'implantation d'un défibrillateur cardiaque chez un travailleur exposé aux champs magnétiques ? *Radioprotection* 2007;42: 211-8.